

Rev. FCA UNCuyo. Tomo 42. N° 1. Año 2010. 93-106.

Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y la pérdida de suelo en la región central de la provincia de Buenos Aires

Effect of tillage and cover on runoff and soil losses in the central region of Buenos Aires province

Roberto J. Crespo,^{1, 2, 3}
Guadalupe Ares^{1, 2, 4}

Alberto Sfeir²
Ana B. Wingeyer³

Eduardo Usunoff^{4†}

Originales: Recepción: 11/07/2009 - Aceptación: 01/12/2009

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar a campo la efectividad de diferentes tipos de labranzas junto con distintos grados de cobertura vegetal (CV) del suelo sobre el escurrimiento (E) y la pérdida de suelo (Ps). Se seleccionaron 34 sitios experimentales bajo labranza tradicional (LT) y siembra directa (SD), con diferentes niveles de CV (C1- < 49, C2- 50-79% y C3- > 80%). Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con 4 tratamientos y desigual número de repeticiones: 1) SD-C3, 2) LT-C3, 3) LT-C2, y 4) LT-C1, resultante de combinar el tipo de labranza con CV. Se realizó un ANOVA ($p \leq 0,05$) y un análisis de contrastes ortogonales: 1) SD-C3 vs LT-C3, 2) LT-C1 vs LT-C2, y 3) C3 vs LT-C2+C1. Al cabo de cada simulación de lluvia se obtuvo el E y Ps. Se determinó: contenido de materia orgánica (CMO), contenido hídrico (CH) y densidad aparente del suelo (DA) en los 10 cm superficiales, y la pendiente (P) del terreno. La LT presentó mayor E y Ps en todos tratamientos evaluados respecto de SD. El mayor E (26,8 mm) se

ABSTRACT

The objective of this work was evaluate on field the effectiveness of tillage and different grades of soil cover (CV) on runoff (E) and soil losses (Ps). Thirty four experimental sites on conventional tillage (LT) and no-till (SD) with CV levels (C1- < 49, C2- 50-79% y C3- > 80%) were selected. A randomized completely experimental design was used, with 4 treatments and unequal repetition numbers: 1) SD-C3, 2) LT-C3, 3) LT-C2, y 4) LT-C1, which resulted of combination of tillage and CV. An ANOVA ($p \leq 0.05$) and orthogonal contrast analysis were carried out: 1) SD-C3 vs LT-C3, 2) LT-C1 vs LT-C2, y 3) C3 vs LT-C2+C1. Runoff and Ps were obtained when each simulate event finished. Soil organic matter (CMO), water content (CH) and soil bulk density (DA) on 10 cm top soil, and land slope were determined. Runoff and Ps always were higher on CT than SD. LT-C2 had the highest R (26.8 mm) and SD-C3 had the smallest R (0.5 mm). Soil loss showed the same tend than E with 11.6 y 0.1 g respectively. The three orthogonal contrast show E statistically different and Ps was in the contrasts N° 2 and 3. Runoff and Ps were

- 1 Becario de la Comisión de Investigaciones Científicas. rcrespo@huskers.unl.edu, rojacre@yahoo.com.ar
- 2 Facultad de Agronomía. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. República de Italia 780. C. C. N° 47. Azul. Provincia de Buenos Aires. B7300 Argentina.
- 3 Department of Agronomy and Horticulture. University of Nebraska-Lincoln, 279 Plant Science Building. 1875 N 38th St. Lincoln. NE 68583-0915 United States.
- 4 Instituto de Hidrología de Llanuras. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Comisión de Investigaciones Científicas. República de Italia 780. C. C. N° 44. Azul. Provincia de Buenos Aires. B7300 Argentina.

registró en LT-C2, y el menor (0,5 mm) en SD-C3. La Ps mostró igual tendencia que el E con 11,6 y 0,1 g respectivamente. Los contrastes mostraron E estadísticamente diferentes para los tres contrastes, mientras la Ps fue estadísticamente diferente en los contrastes N° 2 y 3. Escurrimiento y Ps se correlacionaron entre sí ($R^2 = 0,98$) y con P ($R^2 = 0,83$ y $0,72$ respectivamente). Los resultados obtenidos demuestran la importancia del efecto protector de la CV del suelo. Sin embargo, el CMO y CH, y la P y DA deben ser considerados también en el proceso de E - erosión del suelo.

correlated between the two of them ($R^2 = 0.98$), and with P ($R^2 = 0.83$ y 0.72 respectively). Results show the important protective effect of soil CV. However, CMO, CH, P y DA should be considered in the E - soil erosion process.

Palabras clave

erosión • simulador de lluvia • infiltración • sedimentos

Keywords

erosion • rainfall simulator • infiltration • sediments

INTRODUCCIÓN

A partir de la década de los '60 la Pampa Húmeda Argentina ha sufrido un proceso de "agriculturización" debido al uso creciente y continuo de las tierras para cultivos agrícolas en lugar de uso ganadero o mixto (25). La introducción del cultivo de soja (*Glycine max* L. Merr.) produjo un impacto importante. Durante la campaña 1970/71 se registraron 1.400 ha sembradas con soja y para la campaña 1988/89 el área se había incrementado a 1,1 millones de hectáreas. En la campaña 2005/06 el área sembrada con este cultivo ascendió a poco más de 3,7 millones de hectáreas (23).

A fines de la década de los '70 y especialmente a partir de los '80, el bajo nivel de rentabilidad de la ganadería, agudizó del proceso de "agriculturización", principalmente a expensas de la superficie dedicada a ganadería extensiva (27). Manuel-Navarrete *et al.* (25) manifestaron que desde mediados de la década de los '90, sólo en la Pampa Húmeda, se habían convertido a agricultura 6,6 millones de hectáreas de campo natural o con cultivo forrajero, anteriormente usados para producción ganadera. Esto se refleja en el descenso de la superficie implantada con forrajeras anuales y perennes en la provincia de Buenos Aires que disminuyó en un 22,4% entre en el periodo 1988-2000 (13).

La región centro de la provincia de Buenos Aires, de manifiesta tradición ganadera y triguera, no estuvo exenta de los citados cambios. Cañibano *et al.* (2) reportaron un cambio en el uso de suelo en un área de la región central de la provincia, a través de mayores niveles de intensificación de las actividades agrícolas y ganaderas. Se ha producido, además, una extensión de la etapa agrícola de las rotaciones, hasta llegar al extremo de la eliminación de las pasturas en la combinación de cultivos (27, 33).

A fines de la década de los '40 comenzaron a percibirse los primeros impactos de degradación de suelos, especialmente en aquellos sistemas que aplicaban agricultura continua en la provincia de Buenos Aires. Esta misma tendencia prosiguió y se acentuó en los '80 con el cambio de producción mixta a agricultura exclusiva. Las nuevas tecnologías de insumos y procesos introducidas, llevaron paulatinamente a la modificación

de las propiedades de los suelos (i.e. pérdida de fertilidad e incremento de la erosión hídrica de los suelos), de carácter irreversible (25). En este sentido, la disminución del contenido de materia orgánica (MO) del suelo, la pérdida de su estructura, la disminución de la porosidad y con frecuencia la compactación, reducen la infiltración del agua de lluvia aumentando el escurrimiento (E) y la erosión del suelo (28).

Por otro lado, en los casos en los cuales la ganadería se introdujo en el ciclo agrícola, el pastoreo de los rastrojos de cultivo se convirtió en un recurso forrajero estratégico para la ganadería (27). El pastoreo excesivo de los rastrojos, su recolección y uso como reservas forrajeras o su eliminación a través de la quema, comprometen la cobertura vegetal (CV) del suelo y la reposición o mantenimiento de algunas propiedades del mismo (fertilidad, MO, estructura y porosidad) (33).

La labranza conservacionista es una técnica cuya efectividad para mitigar la pérdida de suelo por escurrimiento está comprobada (20, 34). Dicha efectividad está dada por el volumen de la CV presente, que bajo la forma de rastrojo de cultivos y/o biomasa vegetal viva protege el suelo del impacto directo de la gota de lluvia. En este sentido, la disposición, distribución y cantidad de la CV afectan el E y la Ps (7, 31). Asimismo, actividades como el pastoreo y la quema de los residuos, que reducen drásticamente la CV, afectan el E y la Ps (33).

El uso de labranzas conservacionistas no siempre es más efectivo en el control del E y de la Ps que el uso de labranzas que implican mayor remoción del suelo y menor CV remanente. Esto se debe a que existen otros factores, además de la CV, que tienen un rol importante en la reducción y/o control efectivo del E y la Ps. Entre dichos factores se pueden mencionar la pendiente del terreno, la intensidad de laboreo, la rotación con pasturas, el tipo de suelo y su contenido hídrico al momento de llover, entre otros (4, 8, 20, 22).

El conocimiento de la dinámica del E y la Ps bajo distintos usos y manejos del suelo permite evaluar estrategias de control de los procesos erosivos del suelo, aumentando la infiltración del agua de lluvia y manteniendo la CV del suelo. Wilson *et al.* (34) destacan la importancia del tipo de labranza y el sistema de manejo del residuo seleccionados sobre la dinámica de los citados procesos durante un evento de lluvia. Este conocimiento posibilita establecer pautas para la incorporación de tecnologías conservacionistas para el control de la erosión hídrica (i.e. cultivo en contorno, terrazas de absorción, terrazas de desagüe y franjas de cultivos intercalados en contorno), y proporciona una guía para el manejo de los residuos de cultivo y la CV (31).

En la región centro de la provincia de Buenos Aires la información acerca del impacto del uso de suelo y las labranzas implementadas sobre el E y la Ps es escasa. El efecto de la CV como consecuencia del uso y manejo del suelo, aunque evaluado en Argentina (8), no lo ha sido en la región. Sus condiciones climáticas, su topografía y las características físico-químicas de sus suelos, imponen a la región un cierto grado de susceptibilidad a la ocurrencia de erosión hídrica (6).

Objetivo

Evaluar a campo, mediante lluvia simulada, el impacto sobre el E y la Ps de diferentes tipos de labranzas y grados de CV del suelo, en lotes de producción de la región centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el periodo 2005 - 2006, se llevaron a cabo una serie de ensayos en el sector serrano del Sistema de Tandilia dentro de los partidos de Azul y de Olavarría, en el centro de la provincia de Buenos Aires (32) (figura 1). La región tiene un clima templado húmedo con influencia oceánica sin estación seca (18). La temperatura media anual es de 14,2°C y la precipitación media anual de 925 mm (período 1970-2000) (5).



Figura 1. Localización geográfica de los Partidos de Azul y Olavarría (Buenos Aires, Argentina).

Figure 1. Geographical location of the Azul and Olavarría Counties (Buenos Aires, Argentina).

Se realizaron 34 ensayos en lotes de productores de la región en los cuales fueron incluidos diferentes usos y manejos del suelo. En la selección de los sitios de ensayo se tuvo en cuenta la representatividad del cultivo, del sistema de manejo y del tipo de suelo respecto de la región centro de la provincia (tabla 1, pág. 97). Los suelos bajo estudio fueron todos clasificados como Argiudoles típicos, serie Mar del Plata, de textura superficial franca (32), naturalmente bien provistos de MO (> 4%), y estuvieron ubicados en el relieve en posiciones con gradientes de pendiente de entre 0,5 y 14%, predominando el valor de 5%.

En el total de los 34 sitios experimentales estuvieron representados dos sistemas de labranza: siembra directa (SD) y labranza tradicional (LT). La SD incluyó sembradoras pesadas para la siembra y aplicaciones de plaguicidas pre y pos-siembra.

Tabla 1. Fecha de ensayo con lluvia simulada, cultivo y su estado, porcentaje y tipo de cobertura para los cuatro tratamientos.

Table 1. Measurement dates with rainfall simulated, crop and state, percentage and type of cover of the four treatments.

Trat.	Fecha	Cultivo	Estado cultivo	Cobertura	Tipo de cobertura
SD-C3	08/09/04	Maíz	Cultivo cosechado	100	Rastrojo de maíz
SD-C3	25/10/04	Maíz	Cultivo cosechado	100	Rastrojo de maíz
SD-C3	18/04/05	Soja	Recién cosechado	96	Rastrojos de soja y maíz
SD-C3	20/09/04	Maíz	Cultivo cosechado	100	Rastrojo de maíz
SD-C3	18/04/05	Soja	Recién cosechado	98	Rastrojos de soja y maíz
SD-C3	20/09/04	Maíz	Cultivo cosechado	100	Rastrojo de maíz
SD-C3	28/10/04	Maíz	Cultivo cosechado	100	Rastrojo de maíz
SD-C3	28/03/05	Soja	Soja de 1 ^{ra} en R7-8	100	Soja en pie
SD-C3	18/04/05	Soja	Recién cosechado	99	Rastrojos de soja y maíz
SD-C3	28/09/08	Maíz	Cultivo cosechado	90	Rastrojo de maíz
SD-C3	22/12/04	Soja	Soja de 1 ^{ra} en V5	83	Soja en pie y rastrojo de maíz
SD-C3	21/03/05	Soja	Soja de 1 ^{ra} en R5	100	Soja en pie
SD-C3	15/04/05	Soja	Recién cosechado	98	Rastrojos de soja y maíz
SD-C3	11/03/05	Trigo	Soja de 1 ^{ra} en R5	100	Rastrojo de trigo y soja en pie
SD-C3	28/10/05	Trigo	Rastrojo de trigo	100	Rastrojo de trigo
SD-C3	04/04/05	Soja 2 ^{da}	Soja de 2 ^{da} en R6	100	Rastrojo de trigo
SD-C3	27/05/05	Soja 2 ^{da}	Recién cosechado	98	Rastrojos de trigo y soja
SD-C3	11/11/05	Maíz	Maíz en V2	100	Rastrojo de trigo y maíz en pie
LT-C3	03/03/05	Soja 2 ^{da}	Soja de 2 ^{da} en R3-4	100	Rastrojo de trigo
LT-C3	21/03/05	Soja	Soja de 1 ^{ra} en R7	100	Soja en pie
LT-C3	28/03/05	Soja	Soja de 1 ^{ra} en R7-8	95	Soja en pie
LT-C3	04/04/05	Soja 2 ^{da}	Soja de 2 ^{da} en R6	100	Rastrojo de trigo
LT-C3	27/05/05	Soja 2 ^{da}	Recién cosechado	100	Rastrojos de trigo y soja
LT-C2	08/09/04	Trigo	Trigo en V2-3	65	Trigo en pie
LT-C2	28/09/04	Maíz	Cultivo cosechado	70	Rastrojo de maíz
LT-C2	28/09/04	Maíz	Cultivo cosechado	65	Rastrojo de maíz
LT-C2	22/12/04	Trigo	Próximo a cosecho	78	Trigo en pie
LT-C2	15/04/05	Soja	Recién cosechado	79	Rastrojo de soja
LT-C2	15/04/05	Soja	Recién cosechada	78	Rastrojo de soja
LT-C1	30/11/04	Soja	Soja de 1 ^{ra} en V2	29	Rastrojo de maíz
LT-C1	30/11/04	Soja	Soja de 1 ^{ra} en V2	24	Rastrojo de maíz
LT-C1	06/10/05	-	-	20	Rastrojo de maíz
LT-C1	06/10/05	-	-	46	Rastrojo de trigo
LT-C1	11/11/05	-	-	5	Rastrojo de maíz

SD: Siembra directa, LT: Labranza tradicional, C1: Cobertura vegetal menor a 49%, C2: Cobertura vegetal entre 50 y 79%, C3: Cobertura vegetal mayor a 80%.

SD: No tillage, LT: Conventional tillage, C1: Cover less to 49%, C2: Cover between 50 and 79%, C3: Cover more than 80%.

La LT incluyó al menos una labor de rastra de disco pesada y otra liviana, y una labor de rastra de dientes y rolo. Luego de estas labores se llevó a cabo la siembra y pulverizaciones de plaguicidas.

Se realizaron mediciones de infiltración/escorrimento utilizando un simulador de lluvia portátil con goteros como mecanismo formador de gota. La parcela de medición fue de 50 cm de lado y altura de caída de 1,5 m (16). Se utilizó una lluvia simulada de 60 mm h⁻¹, durante una hora, y las mediciones se realizaron a intervalos de cinco minutos.

El simulador es un prisma de base cuadrada, con lados iguales a los de la parcela y altura de 1,5 m. La estructura es de hierro en ángulo, que sostiene las paredes de nylon transparente, que actúan como rompevientos. En la parte superior se apoya una caja porta goteros de acrílico, en cuya base se encuentran 49 tubos plásticos formadores de gotas. Un reservorio graduado en mm de lámina aplicado a la parcela y montado sobre la estructura alimenta de agua a la caja portagoteros. La altura de dicho reservorio puede ser modificada, con lo que se regula la intensidad de la precipitación. Las gotas que se forman tienen diámetros promedio del orden de 4,7 mm. Epema y Riezebos (9) reportaron que gotas de 4,5 mm de diámetro que caen desde una altura de 1,5 m, presentan una velocidad final de 5,04 m s⁻¹ y adquieren una energía cinética de $6,35 \times 10^{-4}$ J. Por lo tanto, la energía cinética generada por el simulador es de 12,7 kJ m⁻² m⁻¹, lo que equivale al 32,6% de la energía de la lluvia natural de igual intensidad (15, 16).

El aparato se fija por medio de un marco de hierro que es introducido en el suelo. Su lado perpendicular a la dirección de la pendiente aguas abajo tiene forma de vertedero y permite la recolección del E en un recipiente graduado en mm. El E generado en cada simulación se colecta en recipientes plásticos, donde se lo deja decantar. Luego se extrae el agua, se seca y se pesa el sedimento obtenido. El cálculo del agua infiltrada se hace por diferencia entre el agua aplicada y el agua escurrida.

Complementariamente a las mediciones de E, se tomaron muestras de suelo de los 10 cm superiores del perfil y se obtuvo el contenido de MO por el método de Walkley y Black (26). Asimismo, se midió la pendiente (P) del terreno con nivel de anteojo, se determinó el contenido hídrico gravimétrico (CH) (12) y la densidad aparente (DA) por el método del cilindro (1) en los 10 cm superficiales del suelo, en el momento de iniciar cada simulación.

Al momento de realizar las simulaciones de lluvia, se determinó también el porcentaje de CV a través del método de la transecta (19). Los valores de CV fueron agrupados en tres categorías: 1) 0 a 49%, 2) 50 a 79%, y 3) 80 a 100%, para lo cual se consideró la experiencia de trabajos precedentes (22, 24, 34). Cuando la CV estaba conformada por cultivos de soja, maíz (*Zea mays* L.) o trigo (*Triticum aestivum* L.) en pie, se determinó el estado del cultivo. Para ello se utilizó la clave de desarrollo de Ritchie (30) para soja, la de Ritchie (29) para maíz, y el código decimal de estados de crecimiento para cereales establecido por Zadoks para trigo (35).

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y desigual número de repeticiones. Los tratamientos surgieron de la combinación del tipo de labranza y las categorías de CV medidas a campo. Los mismos fueron: 1) lotes bajo SD continua con una CV > 80% (SD-C3), 2) lotes bajo LT continua

con una CV > 80% (LT-C3), 3) lotes bajo LT continua con una CV de entre 50 y 80% (LT-C2), y 4) lotes bajo LT continua con una CV < 49% (LT-C1). Se analizaron tres contrastes ortogonales: 1) SD-C3 vs LT-C3, 2) LT-C1 vs LT-C2, y 3) C3 vs LT-C2+C1. El análisis de varianza (ANOVA) se llevó a cabo con el software estadístico InfoStat 2004 (14), con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Los valores promedios y el error estándar de las características superficiales (CV, P, CH, CMO y DA) para cada tratamiento son presentados en la tabla 2. Los valores de CV resultan de considerar la vegetación viva, compuesta por cultivo y malezas, y/o la vegetación muerta, compuesta por rastrojo del cultivo antecesor. En el tratamiento LT-C1 se registró una CV media 73 y 75% menor respecto de LT-C3 y SD-C3, respectivamente. En el mismo sentido, la CV media de LT-C2 fue 28 y 32% menor a la registrada en los tratamientos LT-C3 y SD-C3, respectivamente.

Tabla 2. Valores promedios y error estándar de cobertura vegetal (CV), pendiente del terreno (P), humedad antecedente (CH), contenido de materia orgánica (CMO) y densidad aparente (DA) determinados para los distintos tratamientos.

Table 2. Cover (CV), slope (P), previous humidity (CH), content of organic matter (CMO), and bulk density (DA) mean and standard error values for different treatments.

Tratamiento	n	CV (%)	P (%)	CH (%)	CMO (%)	DA (g cm ⁻³)
SD-C3	18	97,9 ± 1,1	4,0 ± 0,7	20,2 ± 0,6	5,7 ± 0,2	1,22 ± 0,04
LT-C3	5	92,1 ± 3,4	6,0 ± 1,9	18,7 ± 1,1	5,0 ± 0,5	1,22 ± 0,1
LT-C2	6	66,7 ± 1,7	7,8 ± 3,2	18,1 ± 1,6	5,3 ± 0,6	1,10 ± 0,06
LT-C1	5	24,8 ± 6,6	3,3 ± 1,2	19,6 ± 1,0	5,3 ± 0,4	0,95 ± 0,15

n: Número de repeticiones, SD: Siembra directa, LT: Labranza tradicional, C1: Cobertura vegetal menor a 49%, C2: Cobertura vegetal entre 50 y 79%, C3: Cobertura vegetal mayor a 80%

n: repetitions, SD: No tillage, LT: Conventional tillage, C1: Cover less to 49%, C2: Cover between 50 and 79%, C3: Cover more than 80%,

Las diferencias en el CH del suelo entre tratamientos se deben a la desuniformidad en las precipitaciones naturales entre sitios, registradas con anterioridad al momento de simulación de lluvia. El CMO fue uniforme a través de los tratamientos (tabla 2) y estuvieron comprendidos dentro del rango de CMO típico de la zona (33). La P media para los tratamientos varió entre 3,3 y 7,8% con una alta variabilidad entre repeticiones en el tratamiento LT-C2 (tabla 2). La DA fue más alta en aquellos tratamientos con CV > 80%.

Escurrimiento

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) debidas a los tratamientos combinados de tipo de labranza - CV, para los valores de E. En la tabla 3 (pág. 100) se muestran los valores de probabilidad obtenidos para cada contraste ortogonal. En los tres contrastes analizados se registraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Tabla 3. Valores de probabilidad para el análisis de contrastes ortogonales de 3 contrastes, sobre la presencia de E y la Ps.

Table 3. Probability values for analysis of orthogonal contrast of tree contrast on runoff and soil loss.

Fuente de variación	E	Ps
SD-C3 vs LT-C3	0,0074	0,1336
LT-C1 vs LT-C2	<0,0001	0,0002
C3 vs LT-C2+C1	<0,0001	0,0002

SD: Siembra directa, LT: Labranza tradicional, C1: Cobertura vegetal menor a 49%, C2: Cobertura vegetal entre 50 y 79%, C3: Cobertura vegetal mayor a 80%.

SD: No tillage, LT: Conventional tillage, C1: Cover less to 49%, C2: Cover between 50 and 79%, C3: Cover more than 80%.

En la figura 2a se grafican los valores medios de E que se obtuvieron en cada tratamiento. El valor de E más bajo se registró en el tratamiento de SD-C3 ($p < 0,05$). En los tratamientos bajo LT el más alto E se observó en aquel con CV intermedia (C2), registrando los restantes tratamientos (C1 y C3) valores intermedios.

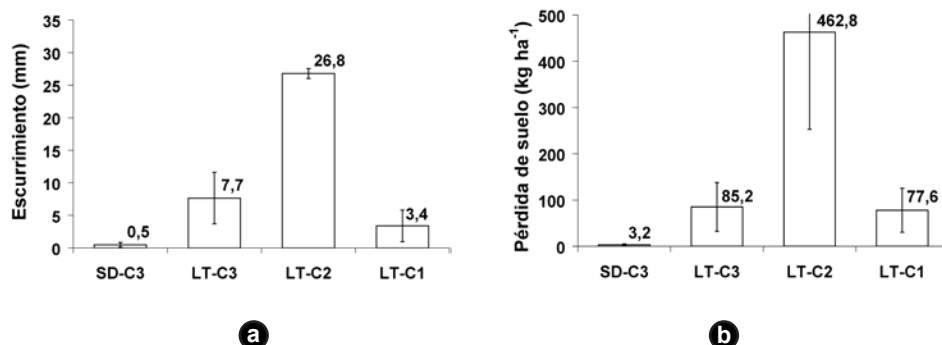


Figura 2. Valores medios y error estándar de E (a) y Ps (b) por tratamiento. SD: Siembra directa, LT: Labranza tradicional, C1: Cobertura vegetal menor a 49%, C2: Cobertura vegetal entre 50 y 79%, C3: Cobertura vegetal mayor a 80%.

Figure 2. Mean and standard error of runoff and soil loss values by treatment. SD: No tillage, LT: Conventional tillage, C1: Cover less to 49%, C2: Cover between 50 and 79%, C3: Cover more than 80%.

Pérdida de suelo

Los valores de Ps de los distintos tratamientos se diferenciaron estadísticamente ($p < 0,05$) entre sí. Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para los contrastes N° 2 (LT-C1 vs LT-C2) y 3 (C3 vs LT-C1+C2) (tabla 3). En el contraste N° 1, donde se compararon los tratamientos con CV > 80% (SD-C3 vs LT-C3), las diferencias en E no resultaron significativas de Ps (tabla 3).

En la figura 2b se muestran los valores medios de Ps obtenidos en cada tratamiento. Los valores de Ps estuvieron comprendidos en un rango de entre $0,1 \pm 0,1$ g (SD-C3) y

$11,6 \pm 5,3$ g (LT-C2), los que representan una Ps entre 3,2 y 462,8 kg de suelo ha^{-1} respectivamente. Los valores de Ps para los tratamientos de LT con máxima y mínima CV fueron similares ($1,9 \pm 1,2$ g y $2,1 \pm 1,3$ g para LT-C1 y LT-C3, respectivamente). Los valores de Ps tuvieron una alta correlación ($r^2 = 0,98$) con el volumen de E producido (figura 3).

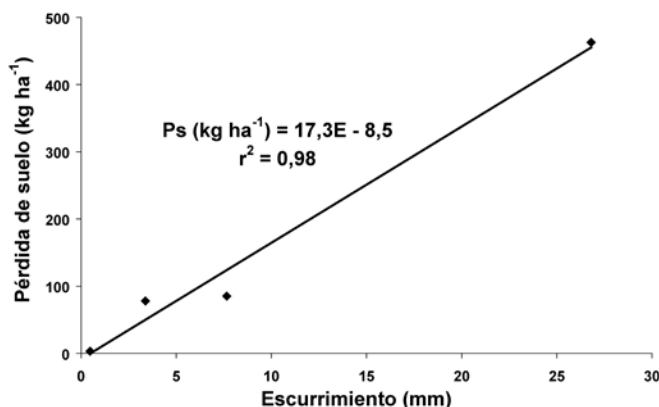


Figura 3. Correlación entre el escurrimiento (E) producido por cada tratamiento y la pérdida de suelo (Ps) en el mismo.

Figure 3. Correlation between runoff (E) and soil losses (Ps) of each treatment.

DISCUSIÓN

Todos los sitios experimentales bajo SD analizados en este trabajo presentaron valores uniformes de CV mayores al 80%. No obstante, los sitios experimentales bajo LT analizados aquí mostraron un amplio rango de CV (5 - 100%) (tabla 1, pág. 97). Los valores medios de E y Ps obtenidos en el tratamiento SD-C3 fueron menores a los registrados en los tratamientos bajo LT con menor CV. Los resultados que arroja el análisis de contraste ortogonales (tabla 3, pág. 100) sugieren que el efecto negativo de la LT sobre el E y la Ps es significativamente mayor cuando la lluvia se produce sobre un suelo con CV intermedia (50 - 80%) (LT-C2) respecto de cuando la CV es mayor al 80%. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Leys *et al.* (20) para suelos loésicos similares a los utilizados en este trabajo. Dichos autores también observaron que tratamientos bajo labranza conservacionista y alta CV, no siempre resultaron en menores niveles de Ps que los tratamientos con escasa CV.

Con CV mayor al 80%, LT no resultó igualmente efectiva en reducir el E respecto del tratamiento bajo SD (tabla 3, pág. 100). Sin embargo, tanto la SD como la LT parecen brindar un importante efecto protector de la superficie del suelo cuando están acompañadas por una alta CV (> 80%), generando valores de Ps sin diferencias estadísticas (tabla 3, pág. 100). Loch (22) y De la Vega *et al.* (8), utilizando lluvia simulada, observaron que el E de agua disminuyó con el incremento en la CV del suelo. Asimismo, ambos trabajos evidenciaron el descenso en los niveles de Ps con el aumento en CV. Loch (22) mostró un valor significativo de Ps con CV por debajo de 47% y nulo con 100% de cobertura.

Mientras tanto, De la Vega *et al.* (8) determinaron un pronunciado descenso de la Ps bajo sistemas de SD con CV, respecto de SD con remoción de la CV. Bajos niveles de E, resultantes de una alta tasa de infiltración, están asociados a un mayor número de macroporos y raíces de las plantas (22), como así también a la distribución y el volumen total de poros del suelo (21).

Loch (22) relacionó el alto nivel de E con un bajo nivel de CV y de humedad antecedente superficial (0 - 5 cm) que ejercieron un efecto impermeabilizante de la superficie del suelo. En coincidencia con lo expuesto por Loch (22), en el tratamiento LT-C2 los más altos E y Ps podrían asociarse con la baja humedad antecedente (tabla 2, pág. 99). El análisis de los resultados mostró correlación directa de E y Ps con la humedad antecedente ($r^2 = 0,79$ y $0,70$ respectivamente). Por lo tanto, una mayor saturación del suelo favorecería la generación de mayores valores de E y Ps en el mismo. Estos resultados, contrarios a los expuestos por Loch (22) para LT, coinciden con los de Dabney *et al.* (7) quienes afirmaron que en muchos casos el E se incrementa con el aumento del CH del suelo, previo a la lluvia. Esto se acentuaría con simulaciones de lluvia o con tormentas de lluvia natural precedentes que saturan total o parcialmente los poros de agua. Dabney *et al.* (7) aseveraron también que la intensidad y duración de la lluvia utilizada durante el ensayo pueden superar la capacidad de almacenamiento e infiltración de agua del suelo, y en consecuencia aumentar el E y la Ps.

El mayor valor de P del terreno podría agregarse a los factores que resultaron en un mayor valor de E y Ps en el tratamiento LT-C2 (tabla 2, pág. 99). En este sentido, se obtuvieron valores de coeficiente de correlación entre la P promedio de cada tratamiento y los valores de E y Ps de $0,83$ y $0,72$, respectivamente. Chaplot y Le Bissonnais (4) también mostraron un aumento en el E con el incremento de P, pero ellos no encontraron asociación entre P y Ps. Kang *et al.* (17) demostraron el aumento de la E y Ps con el aumento en la pendiente; asimismo, destacaron la importancia de una mayor CV para contrarrestar el efecto de la P. Por su parte, Carroll *et al.* (3) señalaron que la importancia del efecto de la P se reduce desde el establecimiento de un cultivo, cuando la CV es baja o nula, hasta cuando el cultivo ha logrado la máxima CV.

Chaplot y Le Bissonnais (4) y Kang (17) determinaron el fuerte efecto del largo de la P sobre el incremento en la Ps, y mostraron que en pendientes más largas la velocidad del flujo de agua se incrementa y con ello el desprendimiento y transporte de sedimentos. También Fox y Bryan (11) determinaron la mayor influencia de la P sobre la erosión; encontraron alta correlación de la Ps y la velocidad del E ($r^2 = 0,81$). Asimismo, Fox *et al.* (10) determinaron que la infiltración del agua de lluvia se ve reducida (y mayor E) con el incremento del ángulo de P.

Las labranzas frecuentemente reducen el E por disminución de la DA del suelo. Complementariamente, las labranzas aumentan la rugosidad de la superficie contribuyendo a disminuir la velocidad del E e incrementando el tiempo de permanencia del agua para ser infiltrada (21). Sin embargo, luego de la primera lluvia se reduce la rugosidad superficial y comienza la formación de una capa superficial de suelo

de mayor densidad. Estos procesos contribuyen al sellado del suelo originando incrementos en el valor de E (7). Al igual que en los resultados aquí presentados, Lipiec *et al.* (21) mostraron que suelos bajo LT poseen los más bajos valores de DA (y más alta porosidad) en los primeros 10 cm de profundidad del suelo.

La importancia de la intensidad de la labranza, definida como el número de labores previo a la medición, constituye otro factor importante en la generación de E y Ps (21). Wilson *et al.* (34) no encontraron diferencia en el volumen de E generado por dos ensayos bajo LT y SD. Sin embargo, mencionaron que el E ocurrió más rápidamente bajo SD que bajo LT debido principalmente a que la LT incrementó temporariamente la permeabilidad superficial del suelo. Las diferencias de E y Ps de LT-C2 respecto de cuando el suelo tiene baja CV (LT-C1) (tabla 3, pág. 100), podrían estar dadas por la intensidad de labranza. La intensidad de labranza, aparentemente elevada, aplicada al tratamiento LT-C1 incrementó notoriamente la macroporosidad y redujo la DA (tabla 2, pág. 99), permitiendo que el agua de lluvia infiltre rápidamente, sin generar un volumen considerable de E y Ps.

En sistemas bajo LT el efecto del impacto de la gota de lluvia podría verse atenuado por altos CMO en los 10 cm superficiales de suelo. Los mayores CMO contribuyen a elevar la estabilidad de los agregados y de esta manera reducir la pérdida de la rugosidad y la formación del sellado superficial durante la ocurrencia de una lluvia (20, 28). Los altos valores de CMO registrados en este trabajo (tabla 2, pág. 99), permitirían transpolar a esta situación el efecto protector de la MO esgrimido por Rhoton *et al.* (28) y Lipiec *et al.* (21), especialmente en el tratamiento LT-C1.

El análisis de los resultados no indicó una correlación directa entre el E y la CV ($r^2 = 0,0038$). Sin embargo, cuando se analizó el efecto del sistema de labranza y la CV mediante los contrastes ortogonales, se detectó una tendencia en favor de la acción protectora de la CV. Esto se tradujo en una reducción del impacto de la gota de lluvia, pérdida de rugosidad y formación de sellado, lo que evitó la generación de E y Ps. Wilson *et al.* (34) encontraron también un claro impacto del sistema de labranza utilizado y la CV del suelo sobre la Ps y el E.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que no siempre el término labranza del suelo fue sinónimo de incremento de E y/o erosión. Si bien los tratamientos bajo LT presentaron mayor E y Ps respecto del tratamiento bajo SD, no se observaron diferencias en Ps entre LT y SD cuando la CV fue mayor al 80%. El análisis de los resultados demuestra la importancia del efecto protector de la CV del suelo en detener el impacto de la gota de lluvia evitando la generación de E y Ps. La presencia de residuos de cultivo en superficie no sólo aumentó la rugosidad de la misma y evitó el impacto directo de las gotas de lluvia, sino que también produjo una disminución en la velocidad del E y arrastre de sedimentos cuando se presentaron sitios con pendiente. Asimismo, los residuos generaron pequeños reservorios de agua donde se registró infiltración a medida que lo permitió el drenaje interno del suelo.

Dentro de los tratamientos bajo LT, cuando la CV fue menor al 50%, el E y la Ps fueron menores que con mayor CV, indicando la presencia de otros factores que influyen los procesos de E y Ps. En este trabajo, independientemente del sistema de labranza utilizado (SD o LT), el E dependió en gran parte de la CV. No obstante, el CMO, la DA, la P y el CH deben ser también considerados como factores que, por sí solos o en conjunto, afectan el proceso de E y la erosión del suelo.

REFERENCIAS

1. Blake, G.R.; K. H. Hartge. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd Ed. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin, USA. p 363-382.
2. Cañibano, A.; M. Gandini; M. Sacido; P. Vázquez. 2004. El crecimiento de la actividad agrícola en la cuenca del arroyo Azul, Buenos Aires, Argentina. XI Simposio Latinoamericano sobre percepción remota y sistemas de información espacial-Selper. Santiago, Chile. del 22 al 26 de noviembre de 2004.
3. Carroll, C.; L. Merton; P. Burger. 2000. Impact of vegetative cover and slope on runoff, erosion, and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queensland coal mines. *Aust. J. Soil Res.* 38: 313-27.
4. Chaplot, V. A. M.; Y. Le Bissonnais. 2003. Runoff features for interrill erosion at different rainfall Intensities, Slope Lengths, and Gradients in an Agricultural Loessial Hillslope. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 844-851.
5. CRAGM. 2006. Boletín Agrometeorológico del Centro-Sur de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Agronomía, UNCPBA. Buenos Aires, Argentina.
6. Crespo, R. J. 2007. Caracterización geográfica del Partido de Olavarría y de la cuenca del Arroyo Tapalqué. *Revista electrónica de la REDLACH, FAO*. 4(1): 10-29. URL (<http://www.rlc.fao.org/es/tecnica/redlach/boletin.htm>) 5/7/2009
7. Dabney, S. M.; G. V. Wilson; K. C. Mc Gregor; G. R. Foster. 2004. History, residue, and tillage effects on erosion of loessial soil. *Trans. ASAE*. 47(3): 767-775.
8. De la Vega, G.; M. G. Castiglioni; M. J. Massobrio; C. I. Chagas; O. J. Santanatoglia; C. I. Iruetia. 2004. Infiltración en un Argiudol vértico bajo siembra directa en condiciones variables de cobertura y humedad inicial. *Ciencia del suelo*. 22(1): 52-55.
9. Epema, G. F.; H. T. Riezebos. 1983. Fall velocity of waterdrops at different heights as a factor influencing erosivity of simulated rain. *Catena Supplement* 4: 1-17.
10. Fox, D. M.; R. B. Bryan; A. G. Price. 1997. The influence of slope angle on final infiltration rate for interrill conditions. *Geoderma*. 80(1-2): 181-194.
11. _____; R. B. Bryan. 1999. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. *Catena* 38: 211-222.
12. Gardner, W. H. 1986. Water content. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd Ed. ASA and SSSA. Madison, Wisconsin, USA. p 493-544.
13. INDEC. 2007. Estadística de Sector Agropecuario. Ministerio de Economía, Instituto Nacional de Estadística y Censo. URL (<http://www.indec.gov.ar>) 15/6/2009
14. INFOSTAT. 2004. InfoStat versión 2004. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

15. Irurtia, C.; R. Mon. 1994. Microsimulador de lluvia para determinar infiltración a campo. Publicación N° 176. SAGPyA, INTA. CIRN, Instituto de Suelos, Castelar. Argentina. 18 p.
16. ———; R. Mon. 2004. Aplicación de simuladores de lluvias portátiles para determinar infiltración del suelo a campo. En: Figueira, R.; Micucci, F. (Eds.), Metodologías físicas para la investigación del suelo: penetrometría e infiltrometría. Edit. UNLP, Argentina. p 131-144.
17. Kang, S.; L. Zhang; X. Song; S. Zhang; X. Liu; Y. Liang; S. Zheng. 2001. Runoff and sediment loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau of China. *Hydrol. Process.* 15: 977-988.
18. Köppen, W. 1948. Climatología, con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica - Pánuco, México, 479 p.
19. Lafen, J. M.; M. Amemiya; E. A. Hintz. 1981. Measuring crop residue cover. *J. Soil Water Cons.* 36: 341-343.
20. Leys, A.; G. Govers; K. Gillijns; J. Poesen. 2007. Conservation tillage on loamy soils: explaining the variability in interrill runoff and erosion reduction. *Eur. J. Soil Sci.* 58(6): 1426-1436.
21. Lipiec, J.; J. Kuś; A. Słowińska-Jurkiewicz; A. Nosalewicz. 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil & Till. Res.* 89: 210-220.
22. Loch, R. J. 2000. Effects of vegetation cover on runoff and erosion under simulated rain and overland flow on a rehabilitated site on the Meandu Mine, Tarong, Queensland. *Aust. J. Soil Res.* 38: 299-312.
23. MAA. 2007. Base de datos agropecuarios provinciales. Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires, Subsecretaría de Agricultura y Ganadería, Dirección Provincial de Economía Rural. URL (<http://www.maa.gba.gov.ar>) 15/06/2009
24. Mannering, J. V.; L. D. Meyer. 1963. The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. *Soil Sci. Soc. Proc.* p. 84-86.
25. Manuel-Navarrete, D.; G. Gallopin; M. Blanco; M. Díaz-Zorita; D. Ferraro, H. Herzer; P. La-terra; J. Morello; M. R. Murmis; W. Pengue; M. Piñeiro; G. Pdestá; E. H. Satorre; M. Torrent; F. Torres; E. Viglizzo; M. G. Caputo; A. Celis. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extra-pampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL - Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 118. Naciones Unidas. Santiago de Chile, Chile. 65 p.
26. Nelson, D. W.; L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Sparks, D. L. (Ed.). *Methods of soil analysis, Part 3. Chemical methods.* ASA and SSSA. Madison, Wisconsin, USA. p. 961-1010.
27. Rearte, D. H. 1996. La integración de la ganadería argentina. SAGPyA, INTA. Buenos Aires, Argentina. 48 p.
28. Rhoton, F. E.; M. J. Shipitalo; D. L. Lindbo. 2002. Runoff and soil loss from Midwestern and southeastern US silt loam soils as affected by tillage practice and soil organic matter content. *Soil & Tillage Res.* 66(1): 1-11.
29. Ritchie, S. W.; J. J. Hanway; G. O. Benson. 2003. Cómo se desarrolla una planta de maíz. En: Herman, J. C. (Ed.). *Reporte Especial N° 48.* Universidad de Ciencia y Tecnología del Estado de Iowa. Ames, Iowa. Edición en Español – INPOFOS Cono Sur. p. 4-18.
30. ———; J. J. Hanway; H. E. Thompson; G. O. Benson. 2003. Cómo se desarrolla una planta de soja. En: Herman, J. C. (Ed.). *Reporte Especial N° 53.* Universidad de Ciencia y Tecnología del Estado de Iowa. Ames, Iowa. Edición en Español – INPOFOS Cono Sur. p 4-16.
31. Ruan, H.; L. R. Ahuja; T. R. Green; J. G. Benjamín. 2001. Residue cover and surface-sealing effects on infiltration: numerical simulations for field applications. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 853-861.

32. SAGyP-INTA-CIRN. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Escala 1:50.00 y 1:100.000. Tomo I. Buenos Aires, Argentina. 731 p.
33. Sfeir, A; M Varni; M Piscitelli; G Ares; R Crespo; E Usunoff. 2006. Efecto de la siembra directa permanente sobre la reducción del escurrimiento superficial. III Congreso Iberoamericano sobre Control de la Erosión y los Sedimentos. Buenos Aires, Argentina. 9 a 11 de Agosto de 2006.
34. Wilson, GV; SM Dabney; KC Mc Gregor; BD Barkoll. 2004. Tillage and residue effects on runoff and erosion dynamics. Trans. ASAE. 47(1): 119-128.
35. Zadoks, JC; TT Chang; CF Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Res. 14:415-421.

Agradecimientos

A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCYT).
A la UNCPBA por el apoyo financiero a través del PICTO N° 07-11501.
A los investigadores Guillermo Studdert, Marcela Piscitelli y Marcelo Varni por su constante apoyo durante el proyecto de Beca CIC.
A Enrique Queupán por su activa colaboración en tareas de campo.
A los técnicos de laboratorio Augusto Meyer y Francisca Cataldi.